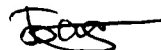


0- 803325

На правах рукописи



БАСЫРОВА ДИНА ИРЕКОВНА

**УПРАВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ ДИСКРЕТНО-
НЕПРЕРЫВНЫХ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА
ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ**

05.13.01. - Системный анализ, управление и обработка информации
(в химической технологии)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань - 2013

Работа выполнена на кафедре интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Научный руководитель

доктор физико-математических наук,
профессор,
Кирпичников Александр Петрович

Официальные оппоненты

Захаров Вячеслав Михайлович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Казанский национальный
исследовательский технический
университет им. А.Н.Туполева-КАИ»,
профессор кафедры компьютерных систем

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КФУ



853558

Хоботов Евгений Николаевич
доктор технических наук, профессор,
ФГБУН «Институт проблем управления
им. В.А.Трапезникова Российской
академии наук», ведущий научный
сотрудник лаборатории 30

Ведущая организация

Институт технической химии Уральского
отделения Российской академии наук
(г. Пермь).

Защита состоится «20» декабря 2013 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.080.13 при Казанском национальном исследовательском технологическом университете по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д.68, зал заседаний Ученого совета (А - 330).

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные гербовой печатью учреждения, просим отправлять по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д.68, ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», ученому секретарю диссертационного совета Д 212.080.13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского национального исследовательского технологического университета.

Автореферат разослан «19» ноября 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.080.13 доктор
технических наук, профессор

Клинов
Александр
Вячеславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы Современный этап развития предприятий технической химии характеризуется тенденцией к переходу от серийных крупнотоннажных производств к полунепрерывным и периодическим малотоннажным производствам. Целый ряд предприятий отрасли технической химии, ориентированных на узкую номенклатуру продукции, приходится модернизировать - адаптировать к широкому ассортименту продукции двойного назначения.

Процесс модернизации отрасли - сложный процесс, требующий исследования функционирования текущего производства и разработки новых, основанных на системном подходе и компьютерных технологиях методов управления и обеспечения устойчивого ритмичного функционирования производств. Актуальность проблемы особенно возрастает в связи с другой тенденцией - модернизация многономенклатурных дискретно-непрерывных производств, к которым относятся производства отрасли, сопровождается ростом сложности и энергонасыщенности производимой продукции. В таких условиях последствия нештатных ситуаций возрастают, приводя как к нарушению качества продукции, так и к серьезным авариям.

Одним из основных этапов системного подхода и анализа сложных систем является математическое моделирование. Вопросам исследования и моделирования сложных систем посвящены работы: В.В.Кафарова, В.Н.Ветохина, В.Л.Перова, В.О.Азбель, А.Ф.Егорова, Т.В. Савицкой, И.А. Ломазовой, И.П.Мухленова и других отечественных и зарубежных ученых. Однако методы и четкие алгоритмы - последовательности выполняемых «шагов» при синтезе математических моделей дискретно-непрерывных химико-технологических систем (ДНХТС) разработаны не достаточно. Поэтому актуальность исследования функционирования и управления дискретно - непрерывными производствами технической химии на основе их математических моделей не вызывает сомнений.

Цель работы

Совершенствование управления многономенклатурными дискретно-непрерывными химико-технологическими системами для повышения эффективности их функционирования на основе модифицированных сетей Петри.

Задачи исследования

- Разработка модификации сетей Петри (СП), проблемно-ориентированной на исследование и управление функционированием дискретно-непрерывных производств технической химии.
- Разработка программного комплекса и алгоритма компьютерного синтеза для моделирования производств технической химии.

- Применение разработанного программного комплекса для исследования функционирования и управления дискретно-непрерывными химико-технологическими системами производств технической химии.

Научная новизна работы

- Разработана оригинальная модификация СП, проблемно ориентированная на моделирование многономенклатурных ДНХТС, и позволяющая моделировать функционирование периодических и полунепрерывных аппаратов и их взаимодействие по последовательно-параллельной схеме.

- Разработан алгоритм компьютерного синтеза, позволяющий создавать модели функционирования многономенклатурных ДНХТС в виде СП, и пошагово корректировать их, выявляя ошибки формирования СП.

- С использованием разработанного алгоритма впервые построены модели в виде модифицированных сетей Петри, реализующие технологические процессы следующих производств: модель технологического модуля производства топливных брикетов, включающая модель процесса сушки; модель технологического модуля регенерации компонентов устаревших энергонасыщенных материалов; модель производства лаковых коллоксилинов.

Практическая значимость

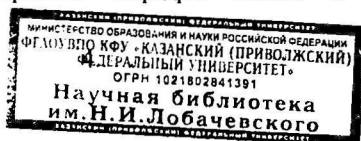
- Разработан программный комплекс - «Система компьютерного моделирования», который позволяет визуально моделировать ДНХТС и отражает структуру моделируемого объекта на экране монитора в виде СП. Помимо графического изображения, программный комплекс автоматически формирует аналитическое и матричное описание СП. На базе данного комплекса сформирована база СП-шаблонов - моделей в виде СП основных аппаратов многономенклатурных ДНХТС.

- Разработан комплекс программ расчета массосодержания растворителя в топливном брикете в зависимости от времени, что позволяет определить время процесса сушки.

- Разработан комплекс программ управления технологическим модулем регенерации компонентов устаревших энергонасыщенных материалов при возникновении нештатных ситуаций.

- Разработан комплекс программ расчета расписания многономенклатурного производства лаковых коллоксилинов, позволяющий выработать эффективные режимы управления ДНХТС при возмущающих воздействиях - отказах отдельных аппаратов, смене состава и качества сырья, модификации планов при выполнении срочных заказов.

- Результаты диссертационной работы, включающие разработанные программный комплекс «Система компьютерного моделирования» и алгоритм компьютерного синтеза внедрены в научно-исследовательскую практику и в учебный процесс кафедры химии и технологии



высокомолекулярных соединений ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Апробация работы

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Научно-технической конференции по вопросам информатики и информационной безопасности (Казань, 2006), XIX, XX Всероссийской межвузовской научно-технической конференции «Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика и диагностика, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» (Казань, 2007; Казань, 2008), III Молодежной международной научной конференции «Тинчуринские чтения», посвященной 40-летию КГЭУ, (Казань, 2008), Всероссийской научно-технической и методической конференции «Современные проблемы технической химии» (Казань, 2009), XIII Международной конференции молодых ученых, студентов и аспирантов «Синтез, исследование свойств, модификация и переработка высокомолекулярных соединений - V Кирпичниковские чтения» (Казань, 2009), XIV, XVII Международной молодежной научной конференции «Туполевские чтения», (Казань, 2006; Казань, 2009), Научно-технической конференции молодых специалистов и ученых посвященной Дню ракетных войск и артиллерии и 80-летию со дня рождения Валеева Габдулфорта Габдулрахматовича (Казань, 2010).

Публикации

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 17 научных работах, в том числе 5 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы

Диссертация общим объемом 170 страниц, состоит из введения, 4 глав основного текста, выводов, списка использованной литературы из 170 наименований и приложений. Работа содержит 38 рисунков и 20 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении показана актуальность темы диссертационной работы, приведены цель, задачи, научная новизна и практическая значимость.

Первая глава посвящена обзору основных классов химико-технологических систем (ХТС). Выделен класс ДНХТС и особенности их функционирования.

Отмечено, что в современных условиях многокритериальность задач организации производств технической химии значительно усложняет и актуализирует исследования в области модернизации и совершенствования организации и управления многостадийными, многономенклатурными техпроцессами производств отрасли. Сделан вывод, что одним из основных путей модернизации отрасли технической химии является внедрение гибких производственных систем и использование системного подхода. Поэтому

ввиду сложности исследуемых в рамках данной работы производств, они были рассмотрены с точки зрения системного подхода, а именно подразделены на ступени – «подсистемы».

Проведен обзор и сравнительный анализ методов моделирования ДНХТС (конечные автоматы, логико-лингвистические модели, подход, основанный на математической логике, сети Петри). Показано, что для исследования функционирования ДНХТС наиболее целесообразно использование математического аппарата теории сетей Петри.

Представлено определение сетей Петри и проведен анализ существующих расширений СП. Отмечена необходимость разработки модификаций СП для расширения моделирующих возможностей при создании систем управления многоименованными ДНХТС.

В главе сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе представлены разработанные автором модификации сетей Петри, система компьютерного моделирования и алгоритм компьютерного синтеза сетевых моделей ДНХТС.

Для решения задачи исследования и управления многоименованными ДНХТС была разработана модификация сетей Петри, включающая раскраску дуг и меток в позициях, самомодифицируемые дуги и временные задержки меток в переходах. В предложенной модификации СП раскраска метки задается не одним параметром, а их набором, отражающим характеристики полупродукта. Введение самомодифицируемых дуг в данную модификацию сетей Петри позволяет моделировать работу аппаратов с неполной загрузкой и дает возможность построения более компактной и наглядной модели ДНХТС.

Дискретно-непрерывная сеть Петри определяется набором:

$$DN = (P, T, F, C, \mu, \mu_C, V, W, Ing, \tau, Pr),$$

где $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – конечное, непустое множество позиций, $n \neq 0$.

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ – конечное, непустое множество переходов, $m \neq 0$, $P \cap T = \emptyset$.

$F \subseteq P \times T \cup T \times P$ – отношение инцидентности, определяющее дуги ДН-сети.

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_K\} \mid c_k = (c'_k, c''_k) \in A, k = \overline{1, K}\}$ – множество раскрасок ДН-

сети, K – количество базовых цветов, $A \subseteq E \times N$, $E = \{0, 1\}$, $N = \{0, 1, 2, \dots\}$

$\mu : P \rightarrow N$ – функция маркировки позиций.

$\mu_C : P \times \mu(P) \rightarrow C$ – функция раскраски меток в позициях ДН-сети

$V : F \rightarrow C$ – функция раскраски дуг, ставит в соответствие каждой дуге, определяемой отношением инцидентности F один из цветов множества C .

$W : F \rightarrow P$ – функция самомодифицируемых дуг, которая каждой дуге ставит в соответствие одну из позиций, раскраска метки в этой позиции является раскраской такой дуги.

$Ing : T \times P \rightarrow \{0, 1\}$ – функция ингибиторных дуг.

$\tau : T \rightarrow \{\tau^1, \tau^2, \dots, \tau^K\}, \tau^k \in N, k = \overline{1, K}\}$ – время задержки меток в переходах

$Pr: T \rightarrow N$ – приоритеты переходов

Правила выполнения переходов модифицированы. Маркировка позиций с учетом функций μ и μ_C определена вектором

$$M(p_i) = (M_1(p_i), M_2(p_i), \dots, M_{\mu(p_i)}(p_i)), \quad M_j(p_i) = \mu_C(p_i, j) \in C, \quad j = \overline{1, \mu(p_i)}, \quad i = \overline{1, n}.$$

Обозначим $M_j(p_i) = (m_{j1}(p_i), m_{j2}(p_i), \dots, m_{jK}(p_i))$, $m_{jk}(p_i) = (m'_{jk}(p_i), m''_{jk}(p_i)) \in A$,

$k = \overline{1, K}$, где $m_{jk}(p_i)$ – значение базового цвета k для метки j в позиции i ,

$m'_{jk}(p_i) \in \{0, 1\}$ – значение качественного атрибута, $m''_{jk}(p_i) \in \{0, 1, 2, \dots\}$ –

значение количественного атрибута.

Разметка входных дуг от перехода t_j к позиции p_i может быть задана вектором $X(t_j, p_i) = (x_1(t_j, p_i), x_2(t_j, p_i), \dots, x_K(t_j, p_i))$, где

$$x_k(t_j, p_i) = (x'_k(t_j, p_i), x''_k(t_j, p_i)) \in A, \quad x'_k(t_j, p_i) \in \{0, 1\}, \quad x''_k(t_j, p_i) \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad k = \overline{1, K}.$$

Вычислены его элементы по формулам

$$X(t_j, p_i) = V(p_i, t_j) = (v_1(p_i, t_j), v_2(p_i, t_j), \dots, v_K(p_i, t_j)), \text{ для обыкновенной}$$

$$\text{раскрашенной дуги, и } x'_k(t_j, p_i) = \prod_{r=1}^{\mu(p_i)} m'_{rk}(p_s),$$

$$x''_k(t_j, p_i) = \sum_{r=1}^{\mu(p_i)} m'_{rk}(p_s) \cdot m''_{rk}(p_s), \quad k = \overline{1, K} \text{ причем } W(p_i, t_j) = p_s \text{ для}$$

самомодифицированной дуги, размеченной позицией p_s .

Разметка выходных дуг описана вектором

$$Y(t_j, p_i) = (y_1(t_j, p_i), y_2(t_j, p_i), \dots, y_K(t_j, p_i)), \text{ где}$$

$$y_k(t_j, p_i) = (y'_k(t_j, p_i), y''_k(t_j, p_i)) \in A, \quad y'_k(t_j, p_i) \in \{0, 1\}, \quad y''_k(t_j, p_i) \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad k = \overline{1, K}. \text{ Его элементы будем вычислять как}$$

$$Y(t_j, p_i) = V(t_j, p_i) = (v_1(t_j, p_i), v_2(t_j, p_i), \dots, v_K(t_j, p_i)), \text{ для обыкновенной}$$

$$\text{раскрашенной дуги, и } y'_k(t_j, p_i) = \sum_{r=1}^{\mu(p_i)} m'_{rk}(p_s),$$

$$y''_k(t_j, p_i) = \sum_{r=1}^{\mu(p_i)} m'_{rk}(p_s) \cdot m''_{rk}(p_s), \quad k = \overline{1, K}, \text{ причем } W(t_j, p_i) = p_s \text{ для}$$

самомодифицированной дуги, размеченной позицией p_s .

Переход может находиться в одном из двух состояний: активирован (запущен), либо нет. Не активированный переход может быть разрешен и готов к запуску, либо не разрешен.

Не активированный переход t является разрешенным и его можно перевести в активированное состояние, если $\forall p_i : (p_i, t) \notin F$
 $\exists M_j(p_i) = \mu_C(p_i, j) \in C$, такая, что

1) Качественные атрибуты выбранной в позиции p_i метки с номером j разрешены для входной дуги: $\sum_{k=1}^K m'_{jk}(p_i) \cdot x'_k(p_i, t) > 0$

2) Значимые количественные атрибуты выбранной метки не меньше соответствующих атрибутов входной дуги:

$$m'_{jk}(p_i) \cdot m''_{jk}(p_i, t) \geq m'_{jk}(p_i) \cdot x'_k(p_i, t) \cdot x''_k(p_i, t), k = \overline{1, K}$$

3) Раскраски меток, выбранных в других входных позициях перехода не взаимоисключают друг друга: $\sum_{k=1}^K \prod_{(p_i, t) \in F} m'_{jk}(p_i) > 0$, где j – номер метки, выбранной в позиции p_i

4) В ингибиторных позициях перехода меток нет: $\forall p_i : \text{Ing}(t, p_i) \neq 0 \quad \mu(p_i) = 0$.
 Срабатывание перехода переводит его в активированное состояние на

время задержки меток в нем $\Delta(t) = \sum_{k=1}^K \left(\tau^k(t) \cdot \prod_{(p_i, t) \in F} m'_{jk}(p_i) \right)$. Маркировка

позиций изменяется.

Для каждой входной позиции p_i меняются параметры выбранной метки $M_j(p_i)$. Новые их значения вычисляются по формулам:

$$m_{jk}^{\text{new}}(p_i) = m'_{jk}(p_i) \quad m_{jk}^{\text{new}}(p_i) = m''_{jk}(p_i) - m'_{jk}(p_i) \cdot x'_k(t, p_i) \cdot x''_k(t, p_i),$$

если $\sum_{k=1}^K m_{jk}^{\text{new}}(t, p_i) > 0$, $k = \overline{1, K}$, в противном случае метка с параметрами

$M_j(p_i)$ удаляется из позиции p_i , а маркировка позиции уменьшается: $\mu^{\text{new}}(p_i) = \mu(p_i) - 1$.

По истечении времени $\Delta(t)$ меняется маркировка выходных позиций перехода t . Для каждой выходной позиций $p_r : (t, p_r) \notin F$ в множестве ее меток, ищется метка с номером h , качественные атрибуты которой совпадают со значениями композиции атрибутов меток выбранных во входных позициях и атрибутов входных и выходных дуг

$$m'_{hk}(p_r) = y'_k(t, p_r) \vee \prod_{p_i : (p_i, t) \in F} m'_{jk}(p_i) \cdot x'_k(t, p_i), k = \overline{1, K}. \text{ Если такая метка}$$

найдена, то ее количественные атрибуты изменяются по формуле:

$$m_{hk}^{\text{new}}(p_r) = m''_{hk}(p_r) + y''_k(t, p_r) \cdot m'_{hk}(p_r), k = \overline{1, K}.$$

При отсутствии такой метки в позиции p_r маркировка этой позиции увеличивается на 1: $\mu^{new}(p_r) = \mu(p_r) + 1$, а раскраска помещенной в позицию метки с номером q формируется из атрибутов

$$m_{qk}^{new}(p_r) = y'_k(t, p_r) \vee \prod_{p_i, (p_i, t) \in I'} m'_{jk}(p_i) \cdot x'_k(t, p_i) \text{ и}$$

$$m_{qk}^{new}(p_r) = y''_k(t, p_r) \cdot m'_{qk}(p_r), \quad k = \overline{1, K}.$$

Предложенная модификация СП позволяет моделировать управление последовательно-параллельным выпуском нескольких видов продукции многономенклатурных ДНХТС.

Для автоматизации процесса построения моделей производств на основе модифицированных сетей Петри был разработан программный комплекс – «Система компьютерного моделирования» (СКМ). Данный комплекс позволяет на основе графического описания получить матричное и аналитическое описание СП. Одним из составляющих компонентов программного комплекса является база типовых аппаратов технической химии в виде сетей Петри – база СП-шаблонов ДНХТС.

Для построения модели в виде сетей Петри в среде разработанного программного комплекса был разработан алгоритм компьютерного синтеза сетевых моделей.

Алгоритм компьютерного синтеза включает в себя следующие шаги:

- Шаг 1. Структурный анализ ДНХТС, включающий декомпозицию производства до требуемого в рамках поставленной задачи уровня;
- Шаг 2. Анализ сопряжения между смежными технологическими стадиями;
- Шаг 3. Агрегатирование аппаратного оформления ДНХТС (объединение аппаратов в агрегаты и объединение буферных площадок в единые буферные хранилища);
- Шаг 4. Построение средствами СКМ иконографической модели - двудольного ориентированного мультиграфа, отражающего топологию аппаратного оформления и направление материальных потоков;
- Шаг 5. Выбор из базы типовых шаблонов СКМ СП-моделей аппаратов-элементов моделируемой ДНХТС;
- Шаг 6. Визуальный синтез модели ДНХТС в среде СКМ путем замены вершин графа иконографической модели шаблонами элементов ДНХТС;
- Шаг 7. Идентификация модели - пошаговое выполнение в среде СКМ СП, моделирующей производство;
- Шаг 8. Формирование файлов с описанием модели производства (аналитическое, графическое, матричное).

Разработанный программный комплекс и алгоритм компьютерного синтеза сетевых моделей был апробирован автором на технологическом модуле производства топливных брикетов, на технологическом модуле

регенерации компонентов устаревших энергонасыщенных материалов и на производстве лаковых коллоксилинов.

В третьей главе описывается применение разработанного инструментария для научного исследования организации производств технической химии на примере производства топливных брикетов и технологического модуля регенерации компонентов устаревших энергонасыщенных материалов.

При производстве топливных брикетов реализуются следующие операции: смешение компонентов в мешателе; продольное прессование в гидравлическом прессе со сменными матрицами; предварительная сушка для придания шнурам полимера после прессования заданной жесткости; резка шнуров до заданной длины; сушка готового продукта. В результате получают брикеты цилиндрической формы длиной 200 мм и радиусом 20 мм.

На базе программного комплекса СКМ были построены модели в виде сетей Петри всех основных элементов технологического модуля изготовления топливных брикетов и синтезирована модель всего аппаратного комплекса. На рисунке 1 представлена СП-модель шкафа для сушки в среде СКМ.

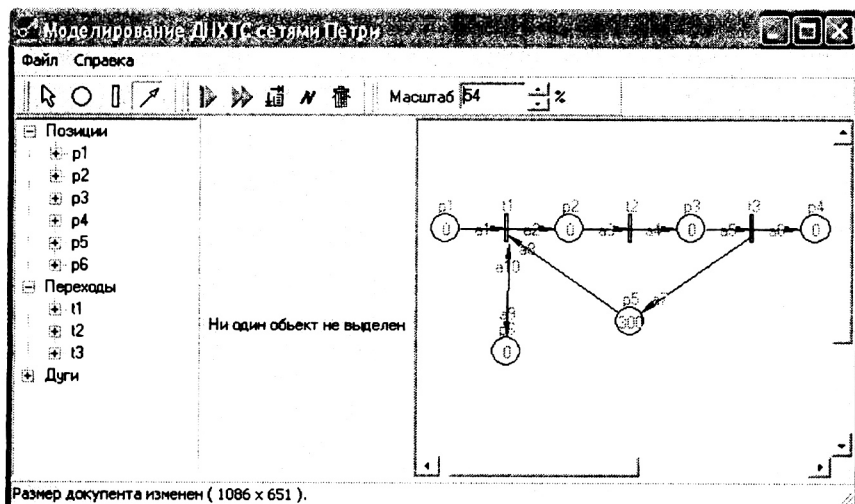


Рисунок 1- СП-модель шкафа для сушки в среде СКМ

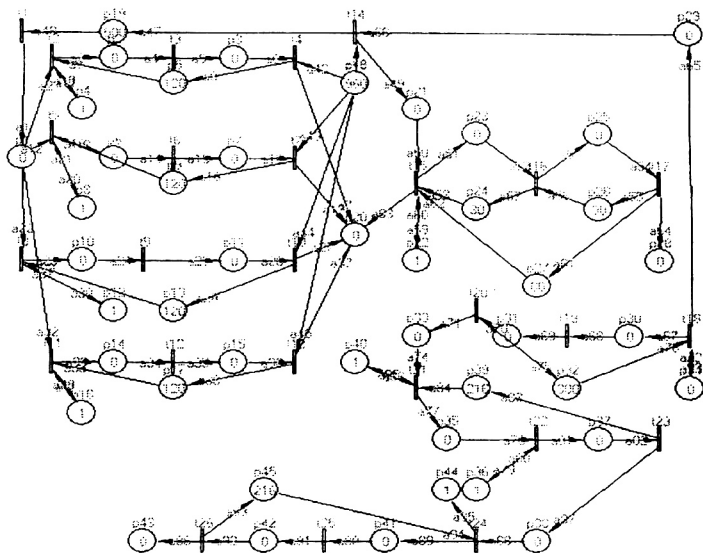


Рисунок 2-СП-модель технологического модуля производства топливных брикетов

На рисунке 2 представлена модель в виде модифицированной СП всего технологического модуля производства топливных брикетов.

Программный комплекс СКМ позволяет имитировать функционирование производства. Изначально имитация реализуется по приоритету FIFO (первый пришел, первый ушел), однако имеется возможность встраивания в программный комплекс модулей с новыми критериями (управление производительностью, качеством, технологической безопасностью, номенклатурой).

Для описания специфической особенности модели производства топливных брикетов, а именно фазы сушки, время задержки метки в позиции задано не константой, как это по умолчанию принято в сетях Петри, а системой дифференциальных уравнений. Это позволит заранее рассчитать время диффундирования влаги в процессе сушки, тем самым обеспечить на выходе качественный продукт.

При построении математической модели техпроцесса сушки выбрана цилиндрическая система координат, начало которой будет совпадать с центром цилиндрического элемента. Так же предположим, что массосодержание растворителя зависит только от координат r и z , и времени t .

Процесс переноса жидкости внутри топливного брикета описывается нелинейным дифференциальным уравнением в частных производных второго порядка:

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r D_m \frac{\partial u}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_m \frac{\partial u}{\partial z});$$

где: D_m - коэффициент диффузии растворителя, м²/с.

Коэффициент диффузии жидкой фазы в топливном брикете описывается следующей зависимостью:

$$D_m = D_{m_0} u^n \left(\frac{T}{T_n} \right)^m$$

где: T - температура теплоносителя, °С; T_n - температура соответствующая нормальным условиям, °С; D_{m_0} - коэффициент самодиффузии растворителя, м²/с; n, m - константы, определяемые в зависимости от состава полимера.

Начальные условия: $u|_{\tau=0} = u_0$;

На внешней границе должны быть выполнены условия:

$$D \rho \frac{\partial u}{\partial r} \Big|_{r=R} = \beta (U_{\text{вн}} - U_{\text{ср}}), \quad D \rho \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=\frac{L}{2}} = \beta (U_{\text{вн}} - U_{\text{ср}}),$$

где: β - коэффициент массотдачи, кг/м²с; ρ - плотность топливного брикета, кг/м³.

Так же должны быть выполнены условия симметрии:

$$\frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0.$$

Среднеинтегральное массосодержание растворителя в элементе вычисляется по формуле:

$$\bar{u} = \frac{1}{V} \int_V r u(r, z) dr dz$$

Для решения дифференциального уравнения, описывающего техпроцесс, был применён метод конечных разностей. Для решения разностных уравнений был использован метод прогонки.

На основе построенной математической модели разработана программа, выполняющая расчет массосодержания растворителя по радиусу и длине в зависимости от времени. Тем самым, рассчитывается τ - время задержки метки, моделирующей полупродукт, в позиции, моделирующей аппарат. Таким образом, решается задача управления длительностью процесса сушки. График зависимости среднеинтегрального

массосодержания растворителя от времени при производстве топливных брикетов представлен на рисунке 3.

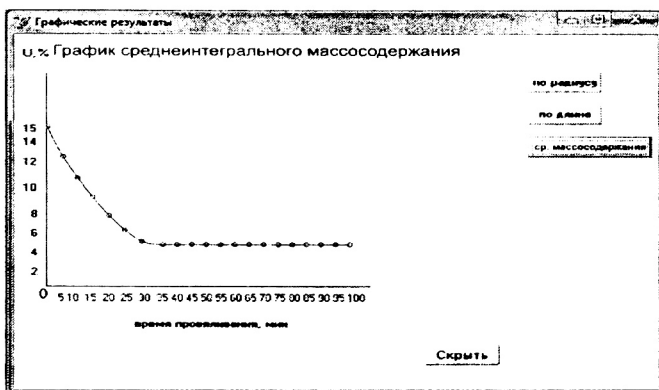


Рисунок 3-График зависимости среднеинтегрального массосодержания растворителя от времени при производстве топливных брикетов

Разработана графическая модель функционирования ДНХТС производства топливных брикетов в среде Трейс Моуд. При наличии устройств связи с объектом, данная модель может служить основой программного обеспечения системы логического управления производством топливных брикетов.

Также в данной главе приведено описание технологического процесса и аппаратного оформления технологического модуля регенерации компонентов устаревших энергонасыщенных материалов, построена его СП-модель. На базе данной СП-модели разработана программная реализация системы управления технологической безопасностью.

В качестве аппаратного оформления технологического процесса регенерации был выбран пульсационный массообменный аппарат непрерывного действия, представляющий собой две U-образные колонны с противоточным пульсационным транспортированием твердой фазы (см. рисунок 4).

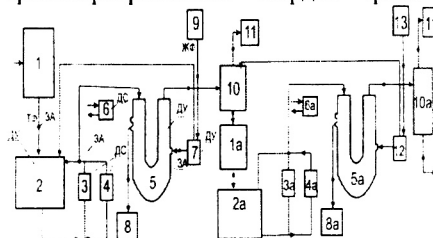


Рисунок 4-Технологическая схема пульсационной установки

ДУ–датчик уровня; ЗА–запорная арматура; ТФ–твердая фаза; ЖФ–жидкая фаза измельчитель(1); напорная емкость(1а); 2-бак-питатель; 3(3а)-питающий насос; 4(4а)- резервный насос; 5- экстракционная колонна; 6(6а)- пульсатор; 7 - дозатор ХМ; 8- система конденсирования ХМ; 8а - система конденсирования АЦ и НЦ; 9- сборник ХМ; 10(10а)-отпарная колонна;11-конденсатор ХМ; 12- дозатор АЦ; 13- сборник АЦ.

Построена потоковая модель пульсационной установки в виде сетей Петри (см. рисунок 5).

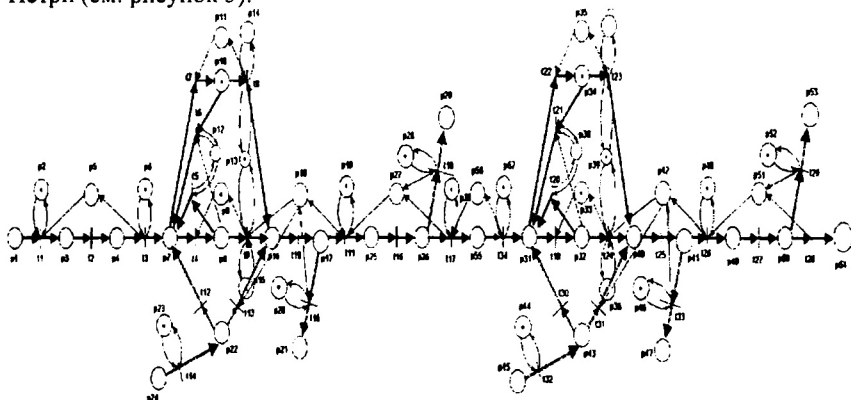


Рисунок 5-Графическое представление СП-модели пульсационной установки

Показано, что установка является потенциально опасной и основная задача системы управления – обеспечение безопасности техпроцесса. В модели в терминах дискретно-непрерывной сети выделены нештатные (аварийные) ситуации и разработаны алгоритмы реакции системы управления в случае их возникновения.

В сетевой модели учтены следующие возможные нештатные ситуации:1.Встал пульсатор 6; 2.Остановка выгрузки твердой фазы на выходе из колонны 5; 3.Остановка насоса 3; 4.Прерывание отвода жидкой фазы из колонны; 5.Остановка подачи твердой фазы в бак-питатель 2.

При нештатной ситуации прекрываются материальные потоки.

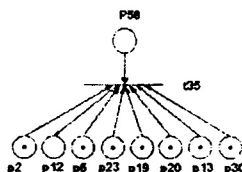


Рисунок 6- Модель нештатной ситуации остановки пульсатора

Рассмотрены действия системы управления на примере остановки пульсатора

1. отсекается подача смеси в колонну 5;
2. включается байпасная линия;
3. отсекается подача жидкой и твердой фазы в бак-питатель;
4. отсекается отвод жидкой фазы из колонны 5;
5. отсекается поток твердой фазы в напорную емкость 1а.

В СП-модели это реализуется следующим образом (см. рисунок 6). Посредством срабатывания перехода t35 помещается метка в позицию p12 и удаляется метка из p2, p6, p23, p19, p20, p11 p30: $M(p12)=1$, $M(p2)=M(p6)=M(p23)=M(p20)=M(p13)=M(p30)=M(p19)=0$.

Аналогичные алгоритмы разработаны для всех нештатных ситуаций

В четвертой главе рассматривается производство лаковых коллоксилинов. Разработана СП-модель данного производства, на основе которой реализован программный комплекс расчета производственного расписания и прогнозирования производительности.

Производство лаковых коллоксилинов включает в себя следующие этапы: рыхление и сушка целлюлозы; приготовление рабочих кислотных смесей, нитрация целлюлозы и рекуперация отработанных кислот; фильтрация отработанных кислот; улов паров азотной кислоты; снижение вязкости коллоксилинов в автоклавах; стабилизация коллоксилинов в чанах; формирование общих партий; отжим коллоксилина от воды; улов коллоксилина из сточных вод; упаковывание коллоксилина в мешки; обезвоживание, упаковывание в тару и отправка коллоксилина потребителю.

На основе разработанной базы СП-шаблонов построены модели основных аппаратов производства лаковых коллоксилинов. На рисунке 7 представлена СП-модель одного из основных аппаратов данного производства- нитратора.

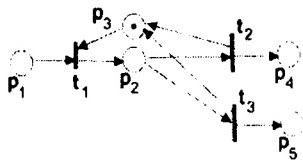


Рисунок 7- СП-модель нитратора

$P = (p1, p2, p3, p4, p5)$ - множество позиций

$T = (t1, t2, t3)$ - множество переходов

В таблице 1 приведено аналитическое описание структуры модели нитратора.

Таблица 1 - Аналитическое описание структуры модели нитратора

Переход	Входная функция		Выходная функция	
	Входные позиции	Разметка дуг	Выходные позиции	Разметка дуг
t1	p1 p3	(1, 1)(45, 45) (1, 1)(1, 1)	p2	(0, 0) (45, 45)
t2	p2	(1, 1)(45, 45)	p3 p4	(1, 1)(1, 1) (0, 0) (45, 45)
t3	p2	(1, 1)(45, 45)	p3 p5	(1, 1)(1, 1) (0, 0) (45, 45)

Начальная маркировка

 $M(p3) = (1, 1)(1, 1)$ $M(p1) = M(p2) = M(p4) =$ $M(p5) = 0$

Время задержки меток в

переходах, мин.

 $\tau(t1) = (15, 15)$ $\tau(t2) = (5, 5)$ $\tau(t3) = (10, 10)$

Интерпретация модели нитратора следующая: позиции p1 и p2 аппаратные, p1 моделирует нитратор в состоянии загрузки, p2 – в состоянии после обработки, готовый к разгрузке. Выполнение перехода t1 моделирует событие обработки порции полупродукта в нитраторе. Переход t2 моделирует выход нитратора на комплекс с центрифугой Р-80, его выполнение интерпретируется как разгрузка порции из нитратора в промежуточный реактор, который моделируется позицией p4. Переход t3 моделирует выход нитратора на аппарат НУОК, описываемый в модели позицией p5, срабатывание t3 соответствует разгрузке порции из нитратора на кольцевой желоб в зону проточной нитрации. Позиция p3 – сигнальная для нитратора, ее маркировка определяет готовность аппарата к началу очередного цикла.

СП-модель производства лаковых коллоксилинов получена подстановкой СП-моделей аппаратов из базы СП-шаблонов в иконографическую модель производства и генерацией соответствующей системы приоритетов, и схемы взаимодействия данных аппаратов, как в пределах отдельных стадий, так и на межстадийном уровне. Граф СП-модели последних стадий производства лаковых коллоксилинов - стадий смешения общих партий и водоотжима представлен на рисунке 8.

Модель производства лаковых коллоксилинов, в виде модифицированных сетей Петри, позволяет исследовать законы функционирования производства и системные связи внутри нее, путем «имитационного» запуска модели производства в среде СКМ. В свою очередь, разработанный программный комплекс позволяет рассчитывать производственное расписание в зависимости от задаваемых начальных условий.

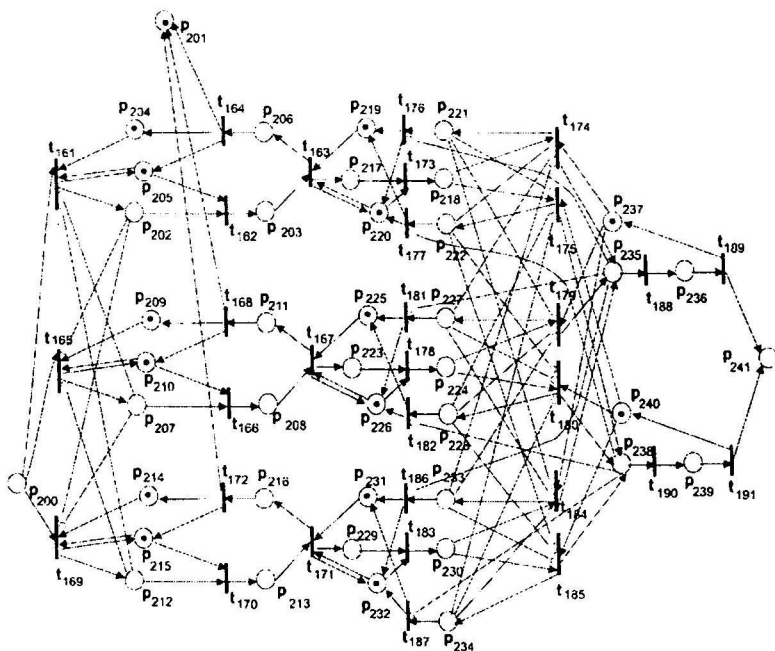


Рисунок 8- Граф СП-модели стадий смешения общих партий и водоотжима производства лаковых коллоксилинов

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. С единых позиций системного подхода рассмотрены производства технической химии, что позволило описать их как сложные ДНХТС и применить математический аппарат теории сетей Петри для исследования и управления ими.

2. Разработана модификация сетей Петри, которая включает раскраску дуг и меток в позициях, самомодифицируемые и ингибиторные дуги, временные задержки меток в переходах, которая позволяет моделировать динамику изменения состояний аппаратов при реализации их технологических циклов и корректно описывать взаимодействие аппаратов по последовательно-параллельной схеме.

3. Разработан инструментарий для компьютерного моделирования производств технической химии в виде модифицированных СП – «Система компьютерного моделирования» и база СП-шаблонов типовых аппаратов производств ДНХТС. Разработан алгоритм компьютерного синтеза, позволяющий строить в рамках «Системы компьютерного моделирования» модели аппаратов ДНХТС в виде модифицированных сетей Петри.

Результат работы программного комплекса является исходной информацией для всех разработанных программных средств.

4. Разработаны СП-модели организации функционирования объектов технической химии, в частности: модель технологического модуля производства топливных брикетов, модель технологического модуля регенерации компонентов устаревших энергонасыщенных материалов, модель производства лаковых коллоксилинов.

5. Разработаны программные комплексы:

- расчета динамики процесса сушки в топливном брикете, что позволяет управлять временем сушки и тем самым исключить возникновение брака из-за пересушки и недосушки брикетов.
- моделирования и прогнозирования действий системы управления технологическим модулем регенерации компонентов устаревших энергонасыщенных материалов в случае возникновения нештатных ситуаций.
- расчета расписаний производства лаковых коллоксилинов, для выполнения плановых заданий, и своевременной корректировки их с учетом отказов оборудования, изменения состава и качества сырья, модификации рабочих планов при выполнении срочных заказов.

Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях

Публикации в ведущих научных рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Басырова, Д.И. Система безопасности техпроцесса регенерации компонентов из полимерных композиции /Д.И. Басырова, А.П. Кирпичников, О.Т. Шипина // Вестник Казанского технологического университета. – Казань, 2010. - № 9. -С.203-210.

2. Басырова, Д.И. Об одном подходе к моделированию функционирования дискретно непрерывных химико-технологических систем / Д.И. Басырова, О.М. Матренина, А.П. Кирпичников, О.Т. Шипина, А.В. Косточко // Вестник Казанского технологического университета. – Казань, 2011. - №13.-С.146-151.

3. Басырова, Д.И. Модель техпроцесса регенерации компонентов из энергетических конденсированных систем / Д.И. Басырова, Д.И. Махмутова, О.Т. Шипина, А.П. Кирпичников, М.Н. Карпова // Вестник Казанского технологического университета.– Казань, 2011. - №13.- С.156-160.

4. Басырова, Д.И. Математическая модель оптимизации процесса удаления растворителей из полимерных элементов на стадии вымачивания / Д.И. Басырова, Д.И. Махмутова, О.Т. Шипина, А.В. Косточко, А.П. Кирпичников // Вестник Казанского технологического университета. – Казань, 2012. - т.15. - №1. - С.187-191.

5. Басырова, Д.И. Технологический модуль очистки сточных вод производства полимеров. / Д.И. Басырова, С.В. Анаников, С.Н.Савдур // Вестник Казанского технологического университета. – Казань, 2012.- т.15 - № 6. -С.121-124.

Прочие публикации по теме научного исследования:

6. Басырова, Д.И. Модель системы логического управления биоочисткой нефтесодержащих технологических стоков / Д.И. Басырова, Н.В. Морозов, Л.И. Тухватуллин, К. М. Давлетгараев, Д. Н. Ахунов // Материалы научно-технической конференции по вопросам информатики и информационной безопасности. - Казань, 2006. - С.70-73.

7. Басырова, Д.И. Модификация сетей Петри, ориентированная на моделирование дискретно-непрерывных производств / Д.И. Басырова, А.Р. Хафизов // XIV Туполевские чтения: Материалы международной молодежной научной конференции 10-11 ноября 2006г.- Казань, 2006.-С.34-35.

8. Басырова, Д.И. Анализ функционирования химико-технологических систем на основе сетевой модели. / Д.И. Басырова // Тинчуринские чтения: Материалы 2-й молодежной международной конференции 26-27 апреля 2007г. – Казань, 2007.-т.3.-С.143-144.

9. Басырова Д.И. Разработка имитационной модели системы автоматизированного учета и контроля потребления энергоносителей / Д.И. Басырова, И.Р. Гильмашин, Р.Ф. Маннанов // Материалы XIX Всероссийской межвузовской научно-технической конференции Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика и диагностика, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий. 4.2.-14-16 мая 2007г.- Казань, 2007. - С.216-218.

10. Басырова, Д.И. Математическое моделирование тепломассопереноса в процессе сушки полимерных продуктов / Д.И. Басырова, А.А. Газимзянова // Тинчуринские чтения: Материалы докладов 3-й молодежной международной научной конференции, посвященной 40-летию КГЭУ.- Казань, 2008. - т.1.-С.192-193.

11. Басырова, Д.И. Модель экстракции растворителя в системе «Твердое тело-жидкость» в производстве природных полимеров / Д.И. Басырова, Э.В.Палий, М.Е.Палий // Тинчуринские чтения: Материалы докладов 3-й молодежной международной научной конференции, посвященной 40-летию КГЭУ. - Казань, 2008. - т.1.-С.197-198.

12. Басырова, Д.И. Математическое моделирование кинетики процессов регенерации полимерных продуктов / Д.И. Басырова, О.Ю.Захарова // Тинчуринские чтения: Материалы докладов 3-й молодежной международной научной конференции, посвященной 40-летию КГЭУ –

Казань, 2008. - т.1.-С.195.

13. Басырова Д.И. Расчет кинетики сушки изделий из природных полимеров на основе математической модели процесса/ Д.И. Басырова, Л.Р. Гайнуллина // Тинчуринские чтения: Материалы докладов 3-й молодежной международной научной конференции, посвященной 40-летию КГЭУ. -Казань, 2008. - т.1.-С.193-194.

14. Басырова Д.И. Математическая модель технологического процесса сушки изделий из природных полимеров / Д.И. Басырова, Ю.В.Верина // Тинчуринские чтения: Материалы докладов 3-й молодежной международной научной конференции, посвященной 40-летию КГЭУ.- Казань, 2008. - т.1.-С.190-191.

15. Басырова Д.И. Методика моделирования многономенклатурных дискретно-непрерывных химико-технологических систем модифицированными сетями Петри / Д.И. Басырова, В.К. Мингазова, О.М. Матренина // Материалы XX Всероссийской межвузовской научно-технической конференции Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика и диагностика, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий. Ч.1. 13-15 мая 2008г. - Казань, 2008. - С.385-387.

16. Басырова Д.И. Модель техпроцесса регенерации устаревших полимеров / Д.И. Басырова, Б.Ф. Двоглазов // Материалы докладов итоговой научно-практической конференции Социально-экономические проблемы становления и развития рыночной экономики. – Казань, 2009. - т.1. -С.109-112.

17. Басырова Д.И. Кинетика процесса регенерации устаревших полимерных продуктов / Д.И. Басырова, Д.И. Махмутова., О.Т.Шипина // Материалы докладов Всероссийской научно-технической и методической конференции Современные проблемы технической химии. – Казань, 2009. - С.173.

Издательско-полиграфическая компания «Бриг»
г. Казань, ул. Академическая, д.2. Тел./факс: (843) 537-91-63

Подписано в печать 18.11.2013 г. Формат 60х84^{1/16}. Объем 1,25 печ.л.
Бумага офсетная. Заказ № 849. Тираж 100 экз.
Отпечатано в типографии ООО «ИПК «Бриг»